

VŠB-TU Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

Úprava dvoučelistového efektoru

Modification of a Two-jaw Gripper

Student:

Stanislav Herudek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Široký

Ostrava 2016

Zadání bakalářské práce

Student: **Stanislav Herudek**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R013 Robotika
Téma: **Úprava dvoučelistového efektoru**
Modification of a Two-jaw Gripper
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rešerši stávajících efektorů.
2. Specifikujte požadavky na efektor (podle pokynů vedoucího).
3. Proveďte analýzu modelu efektoru, jeho smontovatelnost a vyrobiteľnosť jednotlivých dílů.
4. Proveďte konstrukční úpravu vybraných dílů.
5. Vypracujte kompletní výrobní dokumentaci.
6. Práci těž doložte v elektronické formě ve formátu .doc, .pdf a v CAD systému.

Seznam doporučené odborné literatury:

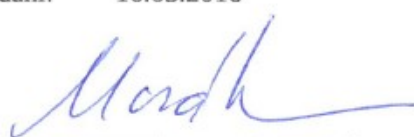
- [1] ČSN 01 6910 Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
- [2] ČSN ISO 690 Bibliografické citace. Obsah, forma, struktura. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.
- [3] SKAŘUPA, J. MOSTÝN, V. Teorie průmyslových robotů. 1. vydání. Košice: Viena Košice, 2000. 146 s. ISBN 80-88922-35-6
- [4] SKAŘUPA, J. Roboty a manipulátory. 1. vydání. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2012. 229 s. ISBN 978-80-248-2613-4


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Široký**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 16. 5. 2016

A handwritten signature in blue ink, reading "Stanislav Herudek", written over a horizontal dotted line.

Stanislav Herudek

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečné ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 55 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby.

V Ostravě: 16. 5. 2016



Stanislav Herudek

Střední 166

747, Dolní Benešov – Zábřeh

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Petru Širokému za konzultace, připomínky a rady vztahující se ke konstrukčnímu procesu, výkresové dokumentaci a tvorbě bakalářské práce. Dále děkuji své rodině a přátelům za podporu při studiu.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

HERUDEK, S. *Úprava dvoučelistového efektoru: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robotiky 58 s. Vedoucí práce: Široký P.

Bakalářská práce se zabývá konstrukčními úpravami efektoru pro průmyslový robot ABB IRB 140. Úvod práce je zaměřen na srovnání stávajících typů efektorů průmyslových robotů. Konstrukční úpravy byly provedeny na základě určených požadavků a objektů manipulace. Součástí jsou 3 varianty upínací konstrukce a volba vítězné verze. Práce dále obsahuje kontrolní výpočty, 3D model finální verze v CAD systému Creo Parametric 3.0 a kompletní výkresovou dokumentaci efektoru.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

HERUDEK, S. *Modification of a Two-jaw Gripper: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava. Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 58 p. Thesis head: Široký P.

Bachelor thesis deals with modification of effector design for industrial robot ABB IRB 140. Introduction of the thesis focuses on comparison of currently used types of industrial robot grippers. Design modifications were performed based on specified requirements and manipulation objects. Design involves 3 versions of gripper frame and selection of the final version. Thesis also involves check calculations, 3D model of the final version in CAD system Creo Parametric 3.0 and full drawing documentation of the gripper.

Obsah

Seznam použitého značení	9
1. Úvod.....	11
2. Efektory	12
2.1 Typy efektorů.....	12
2.2 Navrhování efektorů	16
2.3 Požadavky na řešení efektoru	16
2.4 Struktura efektorů	17
2.5 Robot ABB IRB 140.....	18
2.6 Objekty manipulace	19
3. Požadavkový list	20
4. Určení silových parametrů.....	21
4.1 Pracovní cyklus.....	21
4.2 Určení kritických sil.....	21
4.3 Bezpečnost efektoru.....	24
4.4 Uchopovací síly	25
5. Varianty	28
5.1 Varianta 1	28
5.2 Varianta 2.....	29
5.3 Varianta 3.....	30
6. Vícekriteriální analýza	31
6.1 Hodnoty kritérií.....	31
6.2 Volba kritérií.....	31
6.3 Hodnocení kritérií	31
6.4 Zhodnocení variant	32
6.5 Určení významnosti kritérií	32
6.6 Celkový součet vážených indexů variant.....	32
6.7 Výsledek hodnotové analýzy	33
7. Finální varianta efektoru	34

7.1 Kluzná pouzdra efektoru.....	35
7.2 Čelisti efektoru.....	35
7.3 Soustava táhel efektoru.....	35
7.4 Upínací konstrukce efektoru.....	36
8. Převodová funkce efektoru.....	38
8.1 Zjednodušené schéma efektoru:.....	38
8.2 Výpočet převodové funkce.....	38
8.3 Grafy závislostí převodové funkce.....	40
9. Výpočet sil pohonu efektoru.....	41
9.1 Výpočet síly pohonu efektoru pro uchopení tyče.....	41
9.2 Výpočet síly pohonu efektoru pro uchopení puku.....	42
9.3 Výpočet síly pohonu efektoru pro uchopení krychle.....	43
10. Pohon efektoru.....	44
11. Kontrola čepů.....	45
11.1 Výpočet reakcí.....	45
11.2 Kontrola čepu na otlačení.....	47
11.3 Kontrola čepu na ohyb.....	47
12. Ekonomické zhodnocení.....	48
13. Technické parametry upraveného efektoru.....	49
14. Závěr.....	50
15. Seznam použité literatury:.....	51
16. Seznam obrázků.....	53
17. Seznam tabulek.....	55
18. Seznam grafů.....	57
19. Seznam příloh.....	58
CD-ROM.....	58
Výkresová dokumentace.....	58

Seznam použitého značení

Značka	Význam	Jednotka
a	rozměr táhla efektoru	[mm]
a _v	vertikální zrychlení efektoru	[m.s ⁻²]
a _h	horizontální zrychlení efektoru	[m.s ⁻²]
b	rozměr táhla efektoru	[mm]
c	rozměr táhla efektoru	[mm]
d	rozměr táhla efektoru	[mm]
d _č	průměr čepu	[mm]
e	rozměr táhla efektoru	[mm]
f	koefficient tření	[-]
F	síla pohonu efektoru	[N]
F _n	normálová síla	[N]
F _{rp1}	reakce síly pohonu 1	[N]
F _{rp2}	reakce síly pohonu 2	[N]
F _{sv}	setrvačná vertikální síla	[N]
F _{sh}	setrvačná horizontální síla	[N]
F _v	výsledná síla	[N]
F _t	třecí síla	[N]
g	tíhové zrychlení	[m.s ⁻²]
G	tíhová síla	[N]
k	koefficient bezpečnosti	[-]
k ₁	hmotnostní koefficient	[-]
k ₂	způsob omezení objektu	[-]
k ₃	stav povrchu neopracovaných objektů	[-]
k ₄	kolísání tlaku pracovního média	[-]
k ₅	dynamické charakteristiky robotů	[-]
k ₆	provozní podmínky uživatelů	[-]
l ₁	délka kluzného pouzdra	[mm]
l ₂	délka kluzného pouzdra	[mm]
m _t	hmotnost tyče	[kg]

m_p	hmotnost puku	[kg]
m_k	hmotnost krychle	[kg]
M_o	ohybový moment	[N.m]
N	normálová odklopená síla	[N]
OM	objekt manipulace	[-]
p	provozní tlak	[bar]
p_1	napětí	[MPa]
p_2	napětí	[MPa]
p_D	dovolené napětí	[MPa]
q	spojité zatížení	[N.m ⁻¹]
P_β	dílčí převodová funkce	[-]
P_u	celková převodová funkce	[-]
U	uchopovací síla	[N]
U_t	uchopovací síla tyče	[N]
U_p	uchopovací síla puku	[N]
U_k	uchopovací síla krychle	[N]
W_o	modul průřezu v ohybu	[mm ³]
α	pomocný úhel efektoru	[°]
β	pomocný úhel efektoru	[°]
γ	pomocný úhel efektoru	[°]
σ_D	dovolené napětí	[MPa]
σ_o	ohybové napětí	[MPa]

1. Úvod

Tato práce se zabývá konstrukční úpravou efektoru, který byl navržen pro paralelní robot ABB IRB 360. Konstrukční úpravy byly provedeny pro úpravu efektoru na průmyslový robot ABB IRB 140.

Při úpravě jednotlivých dílů konstrukce se vychází z požadavků, které byly určeny pro provoz v univerzitním centru robotiky. Pracovní úlohou je manipulace třemi objekty manipulace pomocí upraveného efektoru.

Po konstrukčních úpravách a volby nejvhodnější verze byla vypracována kompletní výrobní dokumentace upraveného efektoru.

2. Efektory

Efektor je jedna z nejdůležitějších částí robota. Představuje bezprostřední mezičlánek mezi robotem a okolím. Jeho prostřednictvím realizují roboty přímou interakci vůči objektům v okolí, v procesech automatické manipulace. Vysoká četnost objektů, jejich tvarová, rozměrová, hmotnostní a fyzikální různorodost, včetně různorodosti systémových aplikačních podmínek, vytvářejí z efektorů nejvariabilnější část robotů.

Efektory zpravidla představují funkční celky, sestávající ze zvláštní realizace konstrukčního schématu a souboru parametrů. Jako výstupní akční členy otevřených kinematických struktur průmyslových robotů přicházejí bezprostředně do styku s objekty manipulace, přičemž přímá interakce je zprostředkována přes vlastní aktivní uchopovací prvky – čelisti, pružiny, přísavky, magnety apod. Jejich hlavní funkcí je uchopování objektů okolí. [2]

Pracovní režim efektorů lze shrnout do třech samostatných fází:

- pohyb aktivních uchopovacích prvků do mechanického kontaktu s objektem manipulace a dále vyvození uchopovacích sil
- uchopení a fixace objektu pomocí aktivních uchopovacích prvků
- uvolnění aktivních uchopovacích prvků od objektu manipulace

V praxi se většinou využívají dva typy mechanického kontaktu efektoru s objektem manipulace. Jedná se o uchopení s dvojstranným a jednostranným stykem.

2.1 Typy efektorů

Stávající efektory lze rozdělit více dle více kritérií. Jedno ze způsobů dělení efektorů je dle typu pohonu efektoru. Dělení efektorů dle typu pohonu nabízí 4 typy: pneumatické efektory, hydraulické efektory, elektrické efektory a vakuové efektory. Typ efektoru je vybírán dle souhrnu požadavků, které vyžaduje určená aplikace.

Při volbě výkonových členů se doporučuje respektovat tyto faktory: provozní výkon, zrychlení, velikost a hmotnost, bezpečnost, zejména proti přetížení a přehřívání, náročnost na obsluhu, spolehlivost, životnost, náklady. Provozní výkon a zrychlení jsou, spolu s bezpečností, nejdůležitějšími vlastnostmi. Až po jejich zohlednění se doporučuje přistoupit k minimalizaci rozměrů a hmotností, seřizování, obsluhy, provozních vlastností, životnosti, spolehlivosti a efektivnosti.

- Pneumatické efektory jsou populární zejména díky kompaktním rozměrům a nízké hmotnosti, další výhodou je nižší pořizovací cena a provozní náklady. Dále mají vysokou bezpečnost provozu. Jako příklad uvádím efektor firmy Schunk, model MGP-Plus.



Obr. 1 Pneumatický efektor Schunk MPG-plus [9]

Hmotnost efektoru	0,03 – 0,7 kg
Uchopovací síla	25 – 350 N
Hmotnost OM	0,13 – 1,25 kg
Doraz prstu	1,5 – 10 mm

Tab. 1 Pneumatický efektor Schunk MPG-plus [9]

- Hydraulické efekторы bývají často aplikovány v případech, kdy je potřeba vyvinout větší síly, mají vysoký poměr výkonu ke hmotnosti. Provoz hydraulických efektorů bývá v porovnání s ostatními typy citlivější na čistotu a jsou kladeny vyšší nároky na údržbu. Jako příklad uvádím efektor firmy Schunk, model HGN.



Obr. 2 Hydraulický efektor Schunk HGN [9]

Hmotnost efektoru	0,7 – 4,4 kg
Uchopovací síla	230 – 2380 N
Hmotnost OM	1,6 – 10 kg
Doraz prstu	8 - 16 mm

Tab. 2 Hydraulický efektor Schunk HGN [9]

- Elektrické efektoru nacházejí uplatnění stále častěji z důvodu jednoduchého řízení, kde pohyb efektoru ovládají elektrické motory. Další výhodou elektrických efektorů je absence přívodu tlakové energie. Náklady na provoz jsou úměrné výkonu. Jako příklad uvádím efektor firmy Schunk, model EGP



Obr. 3 – Elektrický efektor Schunk MEG [9]

Hmotnost efektoru	0,47 – 1,42 kg
Uchopovací síla	40 - 140 N
Hmotnost OM	0,25 - 0,85 kg
Doraz prstu	6 - 10 mm

Tab. 3 Elektrický efektor Schunk MEG [9]

- Vakuové efekторы jsou ve výrobě používány díky vysoké flexibilitě. Hlavní výhodou je použití u povrchů s menší rovinností a větší porézností. Jako příklad uvádím efektor firmy Schunk, model GSW-V.

**Obr. 4** Vakuový efektor Schunk GSW-V [9]

Hmotnost efektoru	0,12 – 0,39 kg
Uchopovací síla	55 – 980 N
Hmotnost OM	0,29 – 4,9 kg
Průměr sevření	20 – 32 mm

Tab. 4 Vakuový efektor Schunk GSW-V [9]

2.2 Navrhování efektorů

Pro dosažení výsledných efektů při návrhu efektorů je potřebné při úvodních analytických, koncepčních, výpočtových i konstrukčních činnostech věnovat náležitou pozornost komplexnímu souboru vlivů. I když rozhodující pro řešení efektorů jsou výpočty uchopovacích sil, v místě kontaktu koncových interaktivních prvků s uchopovanými objekty, při respektování nejnepříznivějších režimových stavů, vnějších zatěžujících silových účinků a respektování koeficientů bezpečnosti, je nutno zajistit jejich kompatibilitu s robotizovanými komplexy. Jde nejen o funkční vazbu vzhledem k objektům manipulace, ale i vzhledem k periferiím.

Úspěšné vyřešení efektorů průmyslových robotů pro konkrétní aplikační podmínky předpokládá důkladnou analýzu:

- Objektů manipulace
- Uvažovaných průmyslových robotů
- Periferií robotizovaných pracovišť

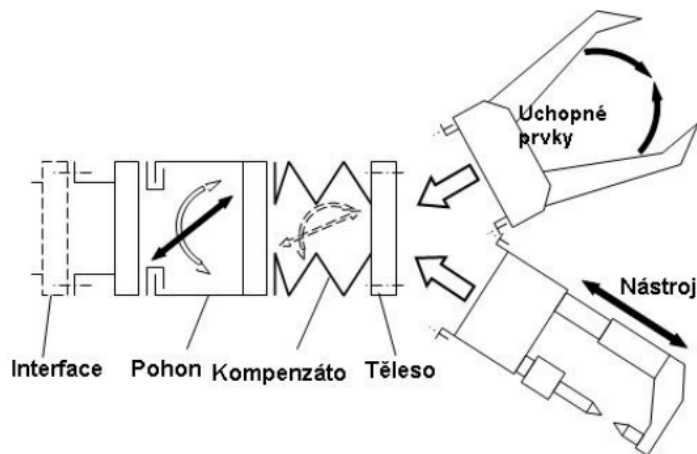
2.3 Požadavky na řešení efektoru

Vlastnosti efektoru, v celkové koncepci robotizovaných systémů, mají velký význam. Jsou limitujícím i obohacujícím faktorem funkční schopnosti nejen příslušných robotů, jejichž jsou součástí, ale i spolu komunikujícího okolí. Hlavně pracují jako interfejsy s funkčními vazbami na objekty technologického zpracování, technologické prostory výrobních zařízení, vychystávací a odkládací zařízení, testovací, čistící a jiné stanice. Výstupy z projektové přípravy robotizovaného technologického pracoviště (RTP) obsahují, kromě jiných podkladů, technické požadavky na efektor průmyslových robotů. Převážně jde o požadavky zaměřené na:

- nosnost efektorů
- dostatečná uchopovací síla
- přesnost uchopování
- čas uchopení a uvolnění objektů
- hmotnost efektorů
- senzorové vybavení efektorů
- tvary efektorů

- plochy a zóny kontaktování na uchopovaných objektech
- centricitu, určující polohu osy nebo roviny symetrie
- adaptivitu a případně další vlastnosti, které by měly efekторы splňovat.

2.4 Struktura efektorů



Obr. 5 Obecná struktura efektorů [4]

Interface

Interface představuje část efektoru, kterou je připojen k výstupním jednotkám průmyslového robotu. Jejich úloha ve strukturách hlavic je důležitá. Funkcí interface je připojení mechanických částí hlavic, propojení na energetické přívody pro výkonové bloky a jejich ovládací prvky, propojení na signálně-informační síť, pokud jsou hlavice vybaveny senzory. [4]

Obě části interface na robotu i efektoru si musí odpovídat tvary, rozměry i parametry a jsou logicky předepsány normou ISO. [4]

Pohon

Pohon chápeme ve dvojím smyslu, jednak jako zdroj pohybu čelistí a uchopovacích efektorů, případně také jako systém pro zajištění mikropohybu – doplňkový stupeň volnosti nad možností robotu dané výrobcem. Pohon se skládá z motoru a transformačního ústrojí. [4]

Kompenzátor

Slouží k eliminaci nepřesností, které se při kontaktu mezi objektem manipulace a uchopnými prvky efektoru mohou vyskytnout. Jeho použití není časté. [4]

Těleso efektoru

Těleso je základním nosným stavebním prvkem s rozhodujícím podílem pro dosažení požadované tuhosti a přesnosti efektoru. Současně musí vytvářet předpoklady pro kompaktnost a minimální vnější rozměry efektoru a připojení ostatních stavebních prvků i technologičnost konstrukce. [4]

Úchopné prvky efektoru

Úchopné prvky hrají rozhodující roli pro dosažení parametrů závisících na kontaktu s dotykovými plochami efektoru a do značné míry také předurčují volbu struktury efektoru. [4]

Nástroje efektoru

Nástroje jsou velmi rozdílné podle druhu technologie a vybavení pracoviště, na kterých se podílí. [4]

2.5 Robot ABB IRB 140

Efektor je navrhován pro použití na robotu ABB IRB 140 v univerzitním centru robotiky. Jedná se o kompaktní univerzální šestiosý průmyslový robot, který je vhodný pro širokou řadu aplikací, mimo jiné je určen právě pro manipulaci s objekty.

Každý průmyslový robot je charakterizován kromě svého strukturálním uspořádáním mnohými dalšími parametry. Níže jsou uvedeny nejdůležitější parametry, charakterizující tento robot.

Technická data ABB IRB 140:

Nosnost:	6 kg
Počet stupňů volnosti:	6
Dosah:	810 mm
Maximální zrychlení:	20 m.s^{-2}
Maximální rychlost:	$2,5 \text{ m.s}^{-1}$
Výkon:	0,4 kW
Napájení:	200 – 600 V, 50/60 Hz
Hmotnost:	98 kg

Aplikace robotu:

Obloukové svařování, montáž, čištění / stříkání, obsluha strojů, manipulace s materiálem, balení, odhrotování.



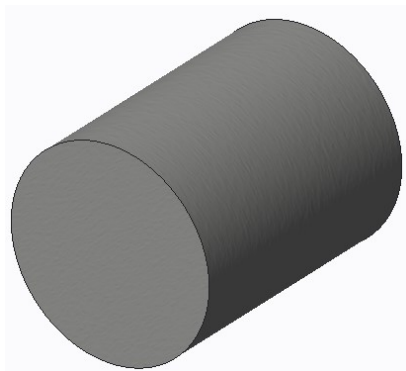
Obr. 6 Robot ABB IRB 140 [10]

2.6 Objekty manipulace

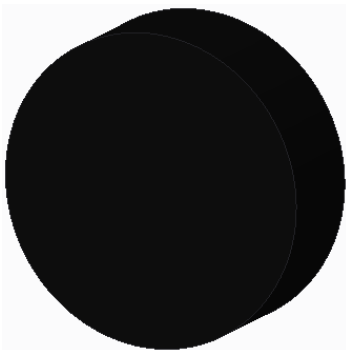
Výběr objektů manipulace byl proveden z dostupných objektů, které se nacházejí v univerzitním centru robotiky. Jedná se o tyto objekty:

- Ocelová tyč: hmotnost 1 kg, průměr 35 mm, délka 140 mm
- Puk: hmotnost 170 g, průměr 76 mm, výška 26 mm
- Krychle: hmotnost 300g, délka hrany 35 mm

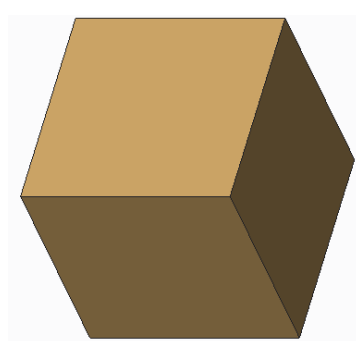
Objekty manipulace:



Obr. 7 Tyč



Obr. 8 Puk

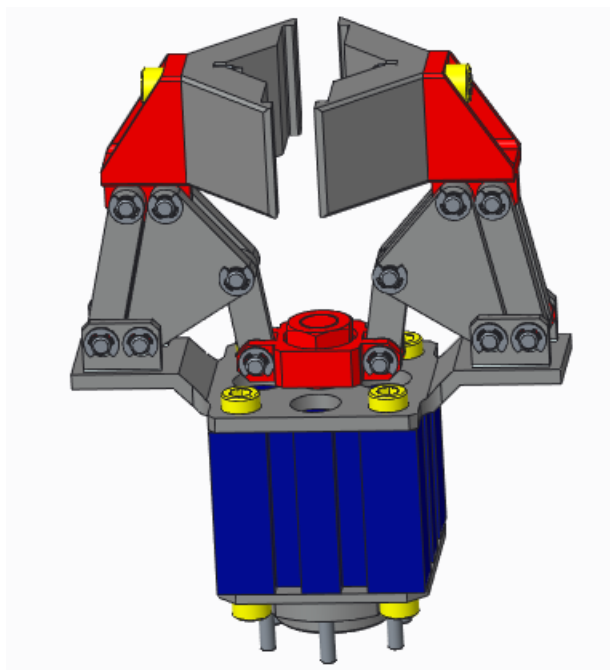


Obr. 9 Kostka

3. Požadavkový list

Hmotnost objektu manipulace:	1 kg
Maximální rychlost:	$2,5 \text{ m.s}^{-1}$
Maximální zrychlení:	1 m.s^{-2}
Pohon efektoru:	Pneumatický (případně elektrický)
Hmotnost efektoru:	do 2,5 kg
Tvar objektu manipulace:	Tyč (průměr 55 mm, délka 50 mm, hmotnost 1 kg) Puk (průměr 76 mm, hmotnost 170 g) Kostka (délka hrany 35 mm, hmotnost 300 g)
Interface efektoru:	Pro robot ABB – IRB 140

Požadavkový list vychází ze specifických požadavků pro provoz v univerzitním centru robotiky a používání pro výukové účely.



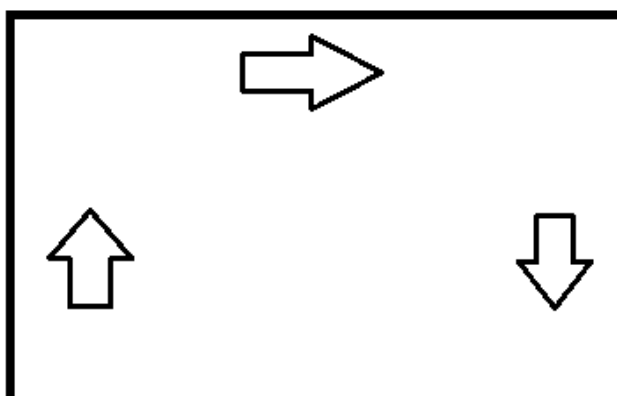
Obr. 10 Původní efektor

4. Určení silových parametrů

Před konstrukčními úpravami efektoru je potřeba určit silové parametry, které vycházejí z pracovního cyklu robotu.

4.1 Pracovní cyklus

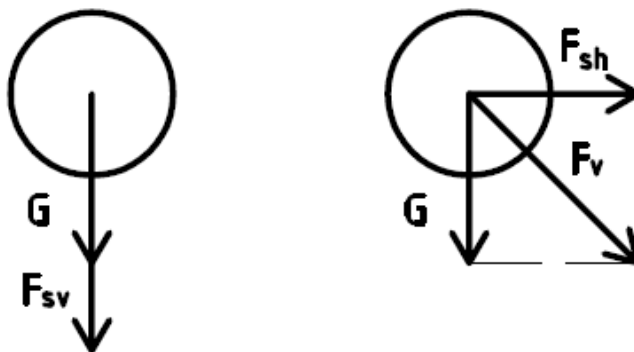
Pracovní cyklus se skládá ze tří jednoduchých pohybů. Dva pohyby jsou vertikální a jeden pohyb je horizontální (viz Obr. 10). Každý jednotlivý cyklus se skládá z akcelerační, rovnoměrného pohybu a brzdění.



Obr. 11 Pracovní cyklus

4.2 Určení kritických sil

Tato část se věnuje určení kritické síly každého objektu manipulace. Při určování sil jsem vycházel z požadavkového listu, ve kterém je uvedeno maximální zrychlení a hmotností objektů manipulace.



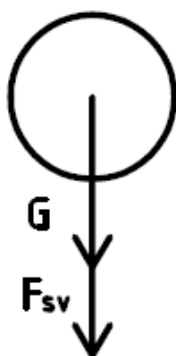
Obr. 12 Síly působící na objekt manipulace

Vertikální pohyb

Při vertikálním pohybu na objekt manipulace působí ve stejném směru tíhová síla G a vertikální setrvačná síla F_{sv} .

Výpočet výsledné síly vertikálního pohybu		
Zadáno	Výpočet	Výsledek
Tíhové zrychlení: $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$	Výsledná síla působící na tyč: $F_v = F_{sv} + G = m_v \cdot a + m_v \cdot g$ $F_v = 1 + 9,81$	$F_v = 10,8 \text{ N}$
Vertikální zrychlení efektoru: $a_v = 1 \text{ m.s}^{-2}$	Výsledná síla působící na puk: $F_v = F_{sv} + G = m_p \cdot a + m_p \cdot g$ $F_v = 0,175 + 1,72$	$F_v = 1,9 \text{ N}$
Hmotnost tyče: $m_t = 1 \text{ kg}$ Hmotnost puku: $m_p = 0,175 \text{ kg}$ Hmotnost krychle: $m_k = 0,3 \text{ kg}$	Výsledná síla působící na kostku: $F_v = F_{sv} + G = m_k \cdot a + m_k \cdot g$ $F_v = 0,3 + 2,94$	$F_v = 3,1 \text{ N}$

Tab. 5 Výpočet výsledné síly vertikálního pohybu

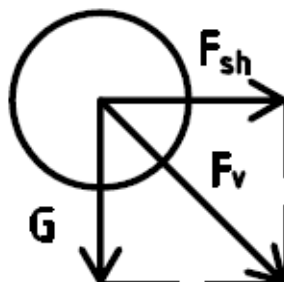


Obr. 13 Síly působící na objekt manipulace při vertikálním pohybu

Horizontální pohyb

Při horizontálním pohybu na objekt manipulace působí ve vertikálním směru tíhová síla \mathbf{G} a horizontální setrvačná síla \mathbf{F}_{sh} . Pro určení výsledné síly působící na objekt manipulace \mathbf{F}_v se vychází z Pythagorovy věty.

Výpočet výsledné síly horizontálního pohybu		
Zadáno	Výpočet	Výsledek
Tíhové zrychlení: $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$ Horizontální zrychlení efektoru: $a_h = 1 \text{ m.s}^{-2}$ Hmotnost válce: $m = 1 \text{ kg}$	Výsledná síla působící na válec: $F_v = \sqrt{F_{sh}^2 + G^2} = \sqrt{(m_v \cdot a)^2 + (m_v \cdot g)^2}$ $F_v = \sqrt{1^2 + 9,81^2}$	$F_v = 9,9 \text{ N}$
Hmotnost puku: $m = 0,175 \text{ kg}$	Výsledná síla působící na puk: $F_v = \sqrt{F_{sh}^2 + G^2} = \sqrt{(m_p \cdot a)^2 + (m_p \cdot g)^2}$ $F_v = \sqrt{0,175^2 + 1,72^2}$	$F_v = 1,7 \text{ N}$
Hmotnost krychle: $m = 0,3 \text{ kg}$	Výsledná síla působící na kostku: $F_v = \sqrt{F_{sh}^2 + G^2} = \sqrt{(m_k \cdot a)^2 + (m_k \cdot g)^2}$ $F_v = \sqrt{0,3^2 + 2,94^2}$	$F_v = 3 \text{ N}$

Tab. 6 Výpočet výsledné síly horizontálního pohybu**Obr. 14** Síly působící na objekt manipulace při horizontálním pohybu

4.3 Bezpečnost efektoru

Výpočet bezpečnosti efektoru byl proveden pomocí násobení dílčích koeficientů bezpečnosti dle hodnot uvedených v literatuře [1].

Dílčí koeficient	Význam koeficientu	Poznámky	Hodnota
k_1	Hmotnostní koeficient	Bezpečná funkce při 120% max. nosnosti	1,2
k_2	Způsob omezení objektu	Jednostranné uchopení Dvojstranné uchopení Trojstranné uchopení	4 – 6 1,3 – 1,7 1,15
k_3	Stav povrchu neopracovaných objektů	Podle max. přípustných nerovností (výkovky, odlitky, apod.)	1,2 – 1,4
k_4	Kolísání tlaku pracovního média	Pneumatické Hydraulické	1,2 – 1,3 1,1
k_5	Dynamické charakteristiky robotů	Amplitudy, frekvence, doba útlumu	1,2 – 2
k_6	Provozní podmínky uživatelů	Běžné Ztížené Těžké	1 1,15 1,3

Tab. 7 Hodnoty dílčích koeficientů bezpečnosti [1]

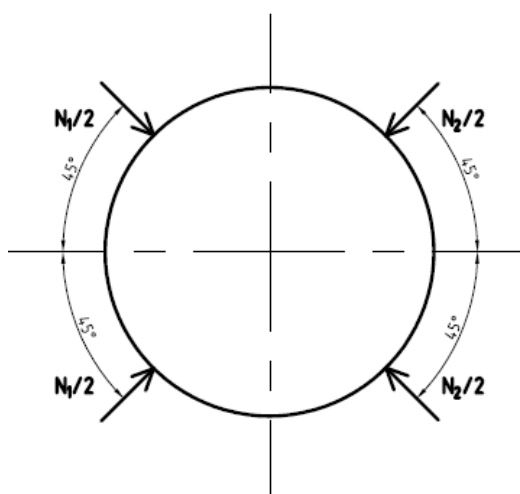
Výpočet koeficientu bezpečnosti efektoru		
Zadáno	Výpočet	Výsledek
$k_1 = 1,2$ $k_2 = 1,4$ $k_3 = 1,2$ $k_4 = 1,2$ $k_5 = 1,5$ $k_6 = 1$	Koeficient bezpečnosti: $k = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6$ $k = 1,2 \cdot 1,4 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,5 \cdot 1$	$k = 3,63$

Tab. 8 Výpočet koeficientu bezpečnosti efektoru

4.4 Uchopovací síly

Výpočet uchopovací síly tyče		
Zadáno	Výpočet	Výsledek
Výsledná síla: $F_v = 10,8 \text{ N}$ Koeficient tření: (ocel-ocel) $f = 0,12 [1]$ Koeficient bezpečnosti: $k = 3,63$	Třecí síla F_{t1} : $F_{t1} = F_{t2}$ $F_v = F_{t1} + F_{t2} = 2 \cdot F_{t1}$ $F_{t1} = \frac{F_v}{2} = \frac{10,8}{2}$	$F_{t1} = 5,4 \text{ N}$
	Normálová síla F_{n1} : $F_{n1} = \frac{F_{t1}}{f} \cdot k = \frac{5,4}{0,12} \cdot 3,63$	$F_{n1} = 163,35 \text{ N}$
	Normálová odkloněná síla $N_1/2$: $N_1/2 = \frac{\frac{F_{n1}}{2}}{\cos \alpha} = \frac{\frac{163,5}{2}}{\cos 45^\circ}$	$N_1/2 = 115,6 \text{ N}$
	Uchopovací síla tyče U_t : $U_t = 4 \cdot \frac{F_{n1}}{2} = 4 \cdot \frac{211,8}{2}$	$U_t = 231,2 \text{ N}$

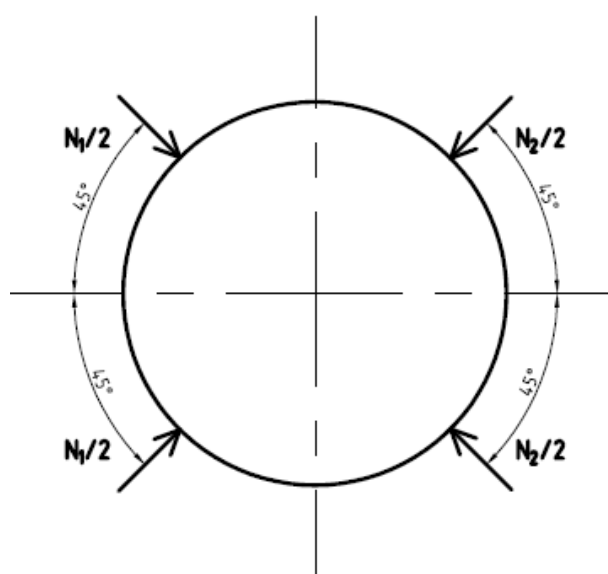
Tab. 9 Výpočet uchopovací síly tyče



Obr. 15 Schéma rozdělení uchopovacích sil pro tyč

Výpočet uchopovací síly puku		
Zadáno	Výpočet	Výsledek
Výsledná síla: $F_v = 1,9 \text{ N}$ Koeficient tření: (ocel-pryž) $f = 0,3 \text{ [1]}$ Koeficient bezpečnosti: $k = 3,63$	Třecí síla F_{t1} : $F_{t1} = F_{t2}$ $F_v = F_{t1} + F_{t2} = 2 \cdot F_{t1}$ $F_{t1} = \frac{F_v}{2} = \frac{1,9}{2}$	$F_{t1} = 0,95 \text{ N}$
	Normálová síla F_{n1} : $F_{n1} = \frac{F_{t1}}{f} \cdot k = \frac{0,95}{0,3} \cdot 3,63$	$F_{n1} = 11,5 \text{ N}$
	Normálová odkloněná síla $N_1/2$: $N_1/2 = \frac{\frac{F_{n1}}{2}}{\cos \alpha} = \frac{\frac{11,5}{2}}{\cos 45^\circ}$	$N_1/2 = 8,1 \text{ N}$
	Uchopovací síla U_p : $U_p = 4 \cdot \frac{N_1}{2} = 4 \cdot \frac{8,2}{2}$	$U = 16,2 \text{ N}$

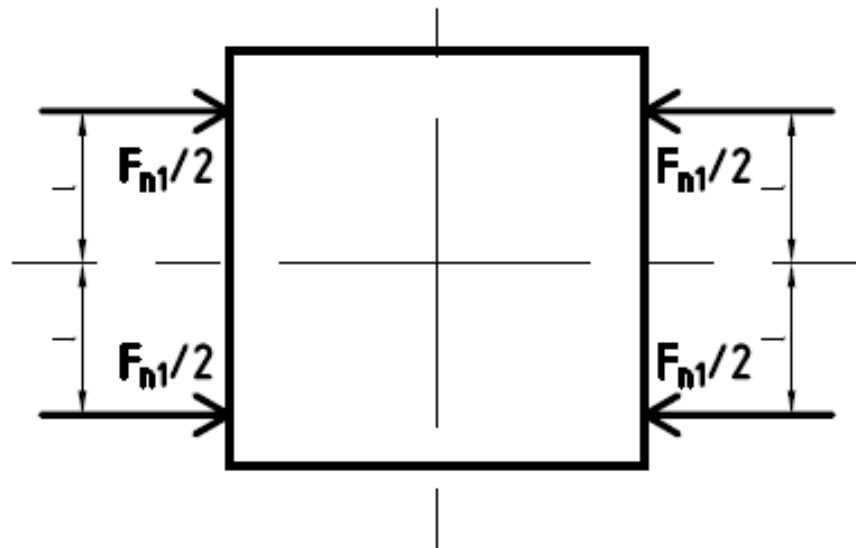
Tab. 10 Výpočet uchopovací síly puku



Obr. 16 Schéma rozdělení uchopovacích sil pro puk

Výpočet uchopovací síly krychle		
Zadáno	Výpočet	Výsledek
Výsledná síla: $F_v = 3,1 \text{ N}$ Koeficient tření: (ocel-ocel) $f = 0,12 \text{ [1]}$	Třecí síla F_{t1} : $F_{t1} = F_{t2}$ $F_v = F_{t1} + F_{t2} = 2 \cdot F_{t1}$ $F_{t1} = \frac{F_v}{2} = \frac{3,1}{2}$	$F_{t1} = 1,55 \text{ N}$
Koeficient bezpečnosti: $k = 3,63$	Normálová síla F_{n1} : $F_{n1} = \frac{F_{t1}}{f} \cdot k = \frac{1,55}{0,12} \cdot 3,63$	$F_{n1} = 46,9 \text{ N}$
	Uchopovací síla krychle U_k : $U_k = 4 \cdot \frac{F_{n1}}{2} = 4 \cdot \frac{46,9}{2}$	$U = 93,8 \text{ N}$

Tab. 11 Výpočet uchopovací síly krychle



Obr. 17 Schéma rozdělení uchopovacích sil pro krychli

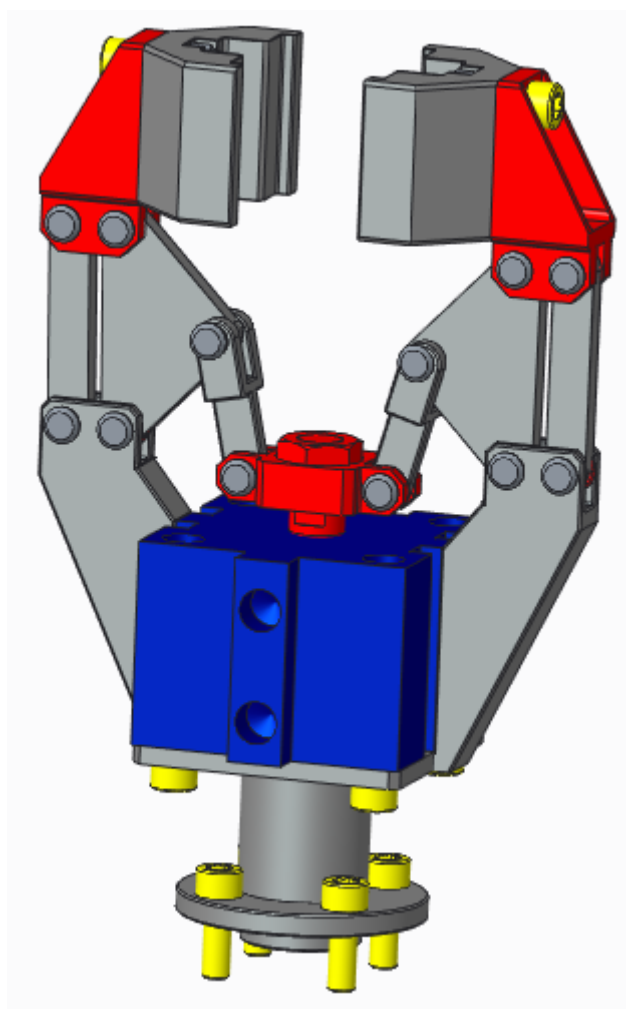
5. Varianty

Při úpravách efektoru byly navrženy tři varianty konstrukce pro upnutí jednotlivých táhel a pohonu efektoru.

5.1 Varianta 1

Konstrukce efektoru pro upnutí táhel a pohonu efektoru Varianty 1 je vyřešena pomocí dvou ramen, které slouží pro upnutí táhel. Ramena jsou vypálena z plechu. Konstrukce dále obsahuje svařenec, který se skládá z interface pro montáž k robotu, nástavce pro jednoduchou montáž a základ pro přišroubování motoru efektoru.

- Hmotnost: přibližně 1,4 kg

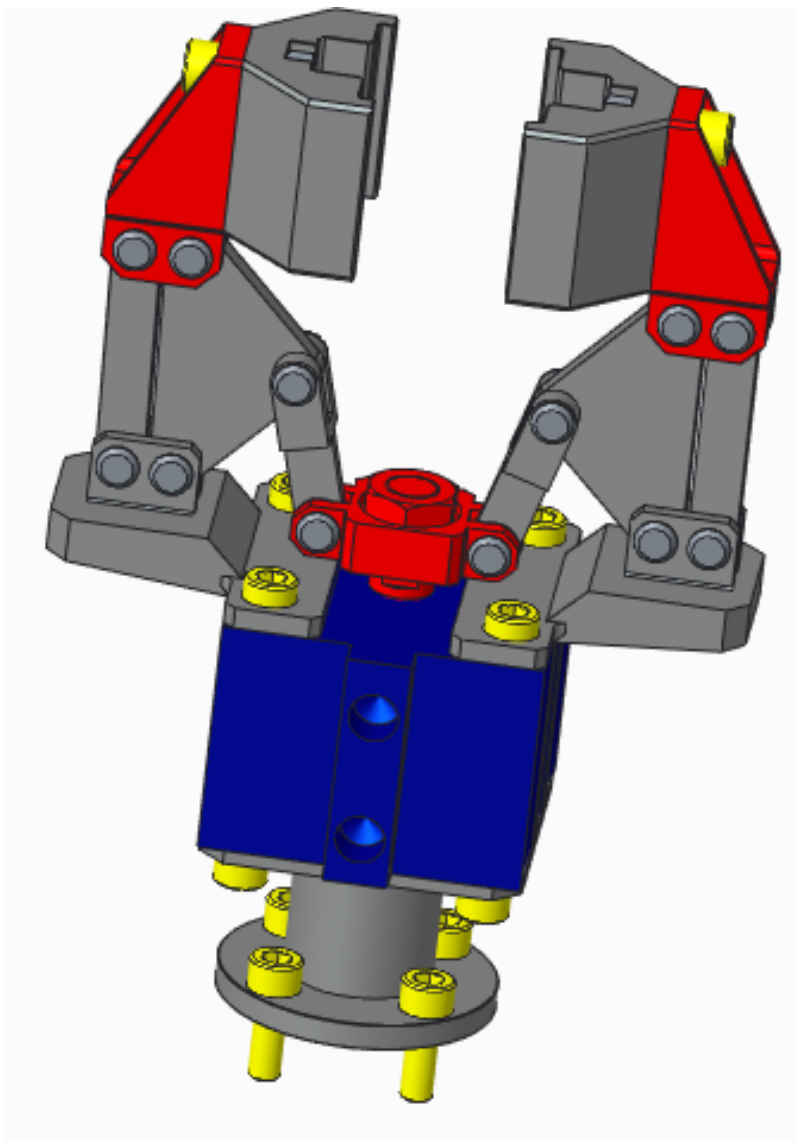


Obr. 18 Varianta 1

5.2 Varianta 2

Varianta 2 konstrukce efektoru pro upnutí táhel a pohonu je vyřešena pomocí dvou ramen pro upnutí táhel, které jsou přišroubovány k motoru efektoru. Konstrukce dále obsahuje svařenec, který se skládá z interface pro montáž k robotu, nástavce pro jednoduchou montáž a základ pro přišroubování motoru efektoru.

- Hmotnost: přibližně 1,46 kg

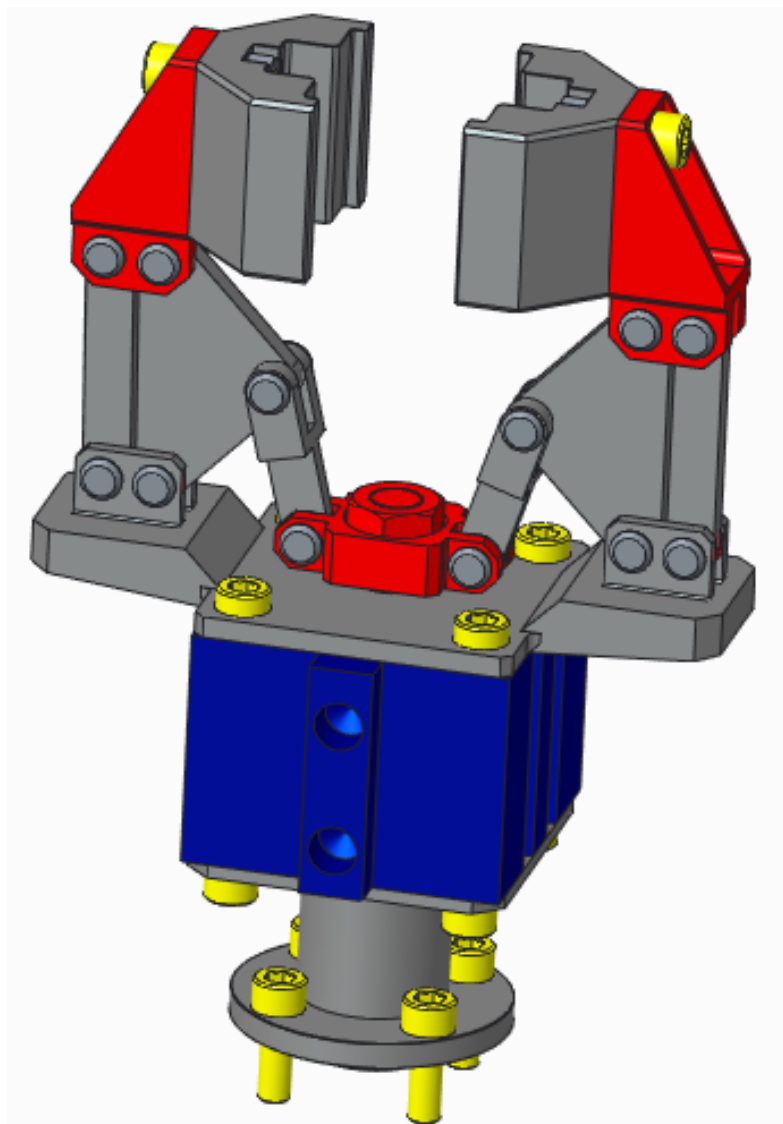


Obr. 19 Varianta 2

5.3 Varianta 3

Konstrukce efektoru pro upnutí táhel a pohonu efektoru Varianty 3 je vyřešena pomocí jednoho dílu pro upnutí táhel, který je přišroubován k motoru efektoru. Konstrukce dále obsahuje svařenec, který se skládá z interface pro montáž k robotu, nástavce pro jednoduchou montáž a základ pro přišroubování motoru efektoru.

- Hmotnost: přibližně 1,48 kg



Obr. 20 Varianta 3

6. Vícekriteriální analýza

Pro volbu nejvhodnější varianty konstrukce efektoru bylo použito kritériální analýzy. Varianty byly hodnoceny na základě níže uvedených kritérií, kterým byla udělena příslušná významnost. Po celkovém součtu vážených indexů jednotlivých variant byla varianta s nejvyšším počtem bodů vybrána jako nejvhodnější.

6.1 Hodnoty kritérií

Vysoká úroveň	5
Dobrá úroveň	4
Průměrná úroveň	3
Nízká úroveň	2
Nevyhovující úroveň	1

6.2 Volba kritérií

Označení kritéria	Kritérium	Charakteristika kritéria
K1	Hmotnost	Celková hmotnost efektoru
K2	Konstrukce	Složitost a nároky na výrobu
K3	Montáž	Složitost montáže
K4	Rozměry	Šířka konstrukce

Tab. 12 Volba kritérií

6.3 Hodnocení kritérií

Kritérium	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
K1 – Hmotnost	1,4 kg	1,46 kg	1,48 kg
K2 – Konstrukce	Jednodušší	Jednoduchá	Přijatelná
K3 – Montáž	Nejméně součástí	Nejvíce součástí	Přijatelná
K4 – Rozměry	122 mm	130 mm	130 mm

Tab. 13 Hodnocení kritérií

6.4 Zhodnocení variant

	K1	K2	K3	K4
Varianta 1	5	4	3	2
Varianta 2	4	2	2	2
Varianta 3	4	3	3	3

Tab. 14 Zhodnocení variant

6.5 Určení významnosti kritérií

Pro určení významnosti kritérií byla použita lineární závislost $q = 1 + 0,5 * v$, kde v je počet voleb.

Porovnané páry kritérií			Počet voleb v	Pořadí	Váha významnosti q
K1	K1	K1	2,5	1	2,25
	K2	K3	-		
	K2	K2	2	2	2
	K3	K4	-		
		K3	1,5	3	1,75
		K4	0	4	1

Tab. 15 Určení významnosti kritérií

6.6 Celkový součet vážených indexů variant

Kritérium	Varianta 1			
	Hodnota	Váha významnosti kritéria q	Index změny l_i	Vážený index kritéria l_{ij}^*
K1	5	2,25	5	11,25
K2	4	2	4	8
K3	3	1,75	3	5,25
K4	2	1	2	2
Celkový součet vážených indexů kritéria l_{ij}^* varianty 1				26,5

Tab. 16 Výpočet vážených indexů l_{ij}^* Varianty 1

Kritérium	Varianta 2			
	Hodnota	Váha významnosti kritéria	Index změny	Vážený index kritéria
		q	l_i	l_{ij}^*
K1	4	2,25	4	9
K2	2	2	2	4
K3	2	1,75	2	3,5
K4	2	1	2	2
Celkový součet vážených indexů kritéria l_{ij}^* varianty 2				18,5

Tab. 17 Výpočet vážených indexů l_{ij}^* Varianty 2

Kritérium	Varianta 3			
	Hodnota	Váha významnosti kritéria	Index změny	Vážený index kritéria
		q	l_i	l_{ij}^*
K1	4	2,25	4	9
K2	3	2	3	6
K3	3	1,75	3	5,25
K4	3	1	3	3
Celkový součet vážených indexů kritéria l_{ij}^* varianty 3				23,25

Tab. 18 Výpočet vážených indexů l_{ij}^* Varianty 3

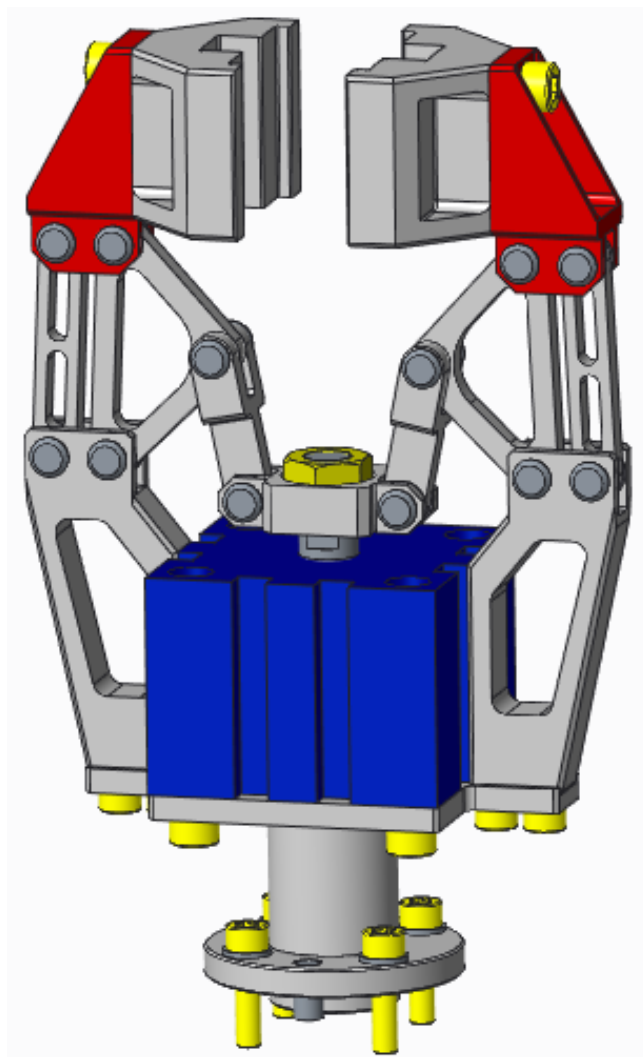
6.7 Výsledek hodnotové analýzy

Pořadí	Celkový počet vážených indexů l_{ij}^*	Varianta
1	26,5	1
2	23,25	3
3	18,5	2

Tab. 19 Výsledek kritériální analýzy

7. Finální varianta efektoru

Finální varianta efektoru vychází z Varianty 1. Konstrukce efektoru, táhla a čelisti jsou vyrobeny z hliníkové slitiny EN AW 6082, která zaručuje dobrou obrobiteľnosť, svařitelnost, eloxovatelnost i odolnosť proti korozi. Čelisti efektoru se rozevírají paralelně. Efektor dále obsahuje tři sady vyměnitelných čelistí pro různé objekty manipulace. Paralelní pohyb čelistí je zajištěn pomocí soustavy táhel, která jsou připevněna ke konstrukci, čelistem a kulise čepy. Všechny čepy jsou zajištěny třmenovými kroužky a jsou uloženy ve válcových kluzných pouzdrech společnosti Igus.



Obr. 21 Finální varianta efektoru

7.1 Kluzná pouzdra efektoru

Čepy jsou uloženy ve dvou typech kluzných pouzder. Jedná se o typ GFM-0506-35, které má límec a dále typ GSM-0506, které je bez límce.



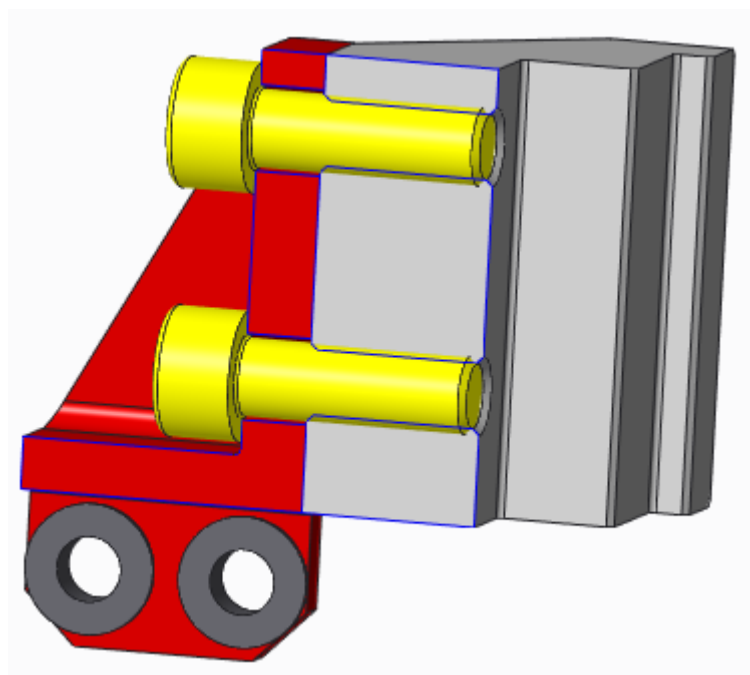
Obr. 22 GFM-0506-35 [12]



Obr. 23 GSM-0506 [12]

7.2 Čelisti efektoru

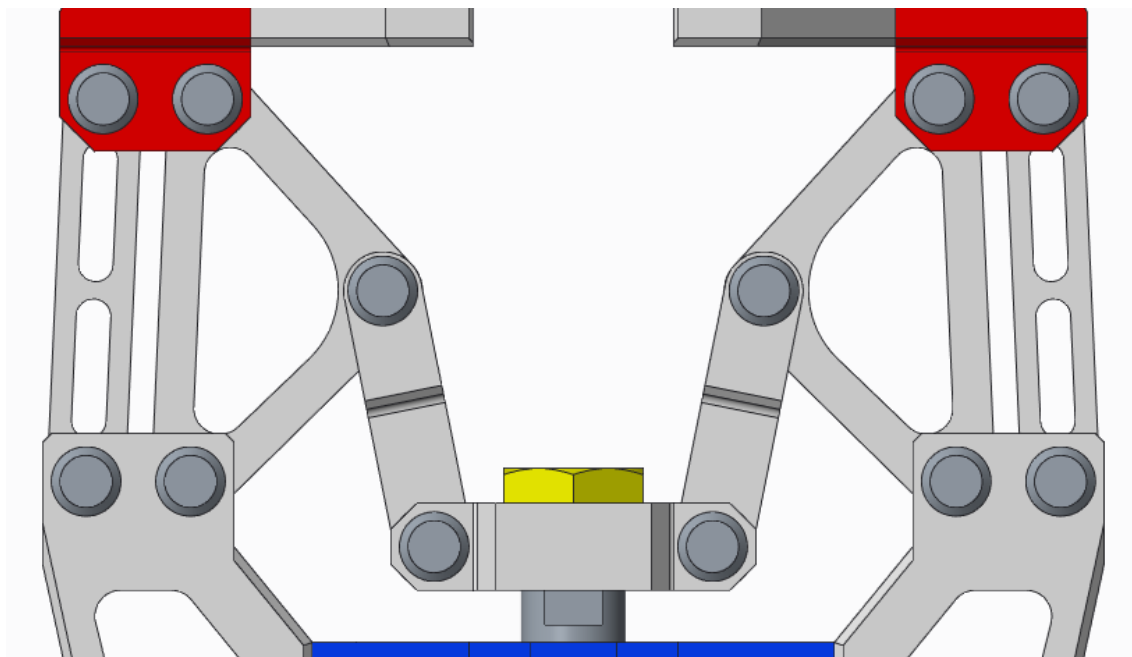
Čelisti efektoru jsou navrženy pro snadnou výměnu. Každá čelist obsahuje dvě díry se závitem. Upevnění čelistí je provedeno pomocí šroubů M6, kterými se čelist připevní k držáku.



Obr. 24 Podsestava čelisti

7.3 Soustava táhel efektoru

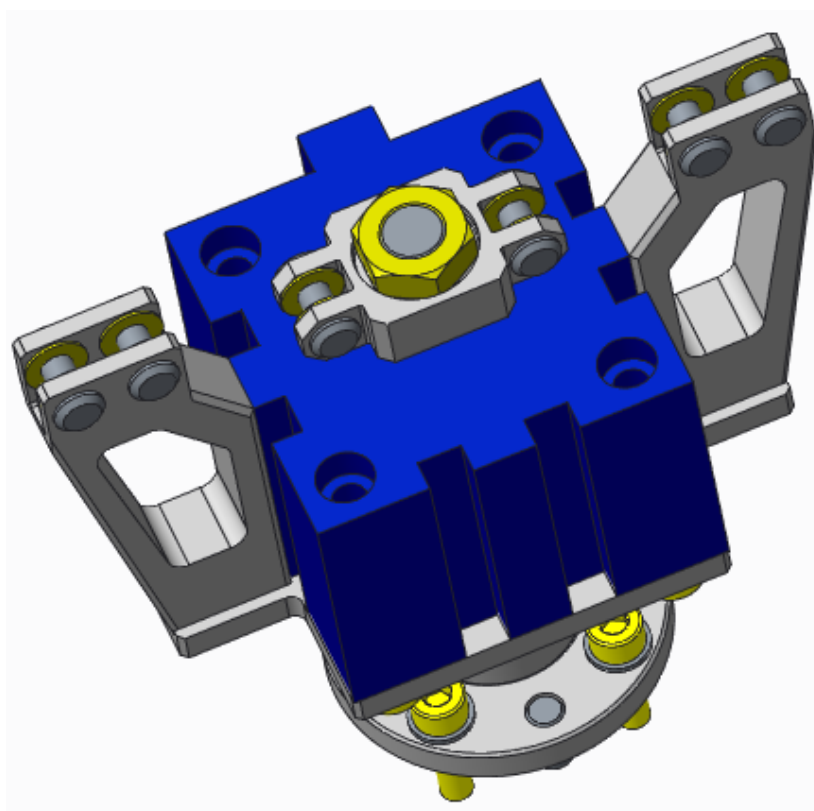
Soustava táhel zajišťuje paralelní pohyb čelistí. Konstrukce efektoru obsahuje tři typy táhel. Táhlo vnitřní a vnější tvoří paralelogram a spojují upínací konstrukci efektoru s čelistmi. Táhlo pomocné je spojeno s kulisou pohonu a přenáší síly a pohyb pístu motoru.



Obr. 25 Soustava táhel efektoru

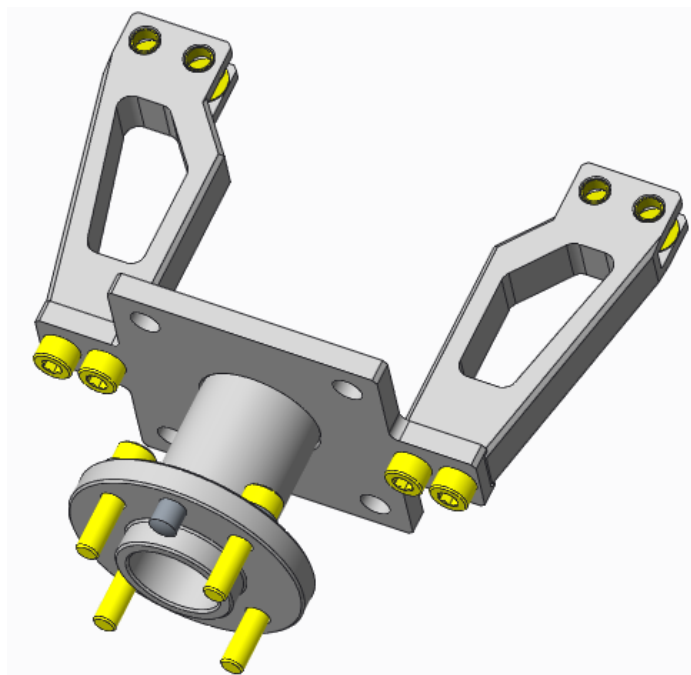
7.4 Upínací konstrukce efektoru

První část upínací konstrukce efektoru se skládá ze dvou ramen pro upnutí jednotlivých táhel. Ramena jsou ke konstrukci přišroubovány čtyřmi šrouby M5.



Obr. 26 Upínací konstrukce efektoru

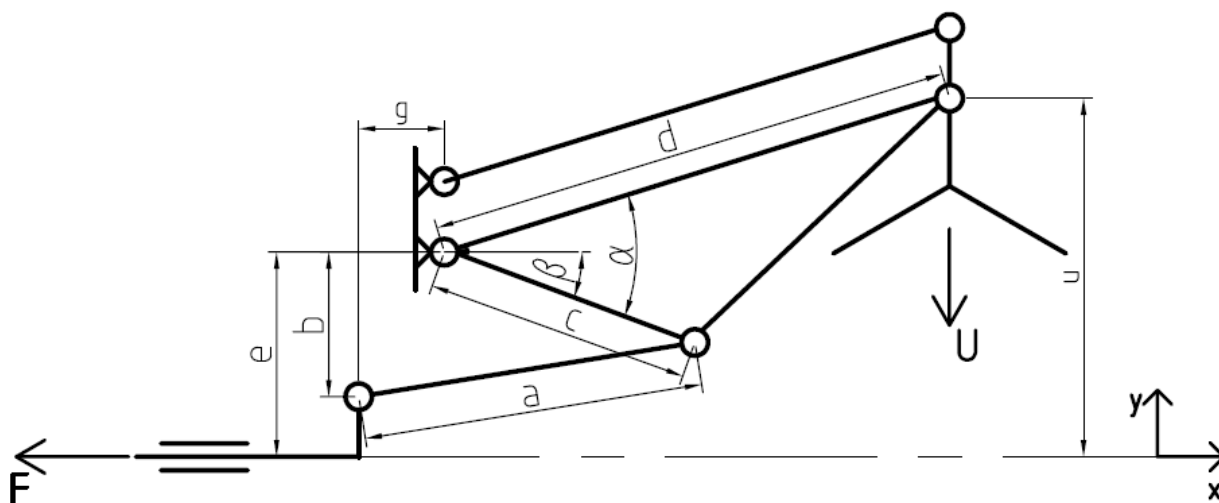
Druhou částí upínací konstrukce je svařenec, který zajišťuje připojení k interface robotu a zároveň také umožňuje montáž pneumatického pohonu ke konstrukci čtyřmi šrouby M6.



Obr. 27 Upínací konstrukce efektoru

8. Převodová funkce efektoru

8.1 Zjednodušené schéma efektoru:



Obr. 28 Zjednodušené schéma mechanismu efektoru

Zjednodušené schéma efektoru včetně označení všech potřebných parametrů pro výpočet převodové funkce efektoru mezi uchopovací silou a silou pohonu efektoru je zobrazeno na **Obr. 28**.

Tabulka parametrů mechanismu efektoru		
Parametr	Hodnota	Jednotky
a	30	[mm]
b	30	[mm]
c	30	[mm]
d	44	[mm]
e	30	[mm]
α	45	[°]
β	proměnná mechanismu	[°]

Tab. 20 Parametry mechanismů efektoru

8.2 Výpočet převodové funkce

Proměnnou v tomto mechanismu byl zvolen úhel β .

Pro výpočet převodové funkce je třeba určit závislost posuvu pístu ve směru x na úhlu β , závislost posuvu čelistí ve směru y na úhlu β , dílčí a celkovou převodovou funkci.

Na závěr je možno vyjádřit poměr mezi silami U/F. Pro lepší názornost byly výsledky převodové funkce uvedeny v grafech.

Závislost posuvu pístu pohonu ve směru x lze vyjádřit jako závislost na úhlu β , tedy funkčním vztahem $x = f(\beta)$:

$$x = g + c \cdot \cos \beta - \sqrt{a^2 - (b - c \cdot \sin \beta)^2} \quad (1)$$

Derivace posuvu x podle proměnné β :

$$dx = -c \cdot \sin \beta d\beta - \frac{(c \cdot \cos \beta) \cdot (b - c \cdot \sin \beta)}{\sqrt{a^2 - (b - c \cdot \sin \beta)^2}} d\beta \quad (2)$$

Dílčí převodová funkce byla vyjádřena vztahem:

$$P_\beta = \frac{d\beta}{dx} = \frac{1}{-c \cdot \sin \beta d\beta - \frac{(c \cdot \cos \beta) \cdot (b - c \cdot \sin \beta)}{\sqrt{a^2 - (b - c \cdot \sin \beta)^2}}} \quad (3)$$

Závislost posuvu čelistí efektoru u ve směru y v závislosti na úhlu β , tedy funkčním vztahem $y = f(\beta)$:

$$u = e + d \cdot \sin(\alpha - \beta) \quad (4)$$

Derivace posuvu u podle proměnné β :

$$du = -d \cdot \cos(\alpha - \beta) \quad (5)$$

Celková převodová funkce P_u byla vyjádřena pomocí vztahu:

$$P_u = \frac{du}{d\beta} \cdot P_\beta = \frac{-d \cdot \cos(\alpha - \beta)}{-c \cdot \sin \beta d\beta - \frac{(c \cdot \cos \beta) \cdot (b - c \cdot \sin \beta)}{\sqrt{a^2 - (b - c \cdot \sin \beta)^2}}} \quad (6)$$

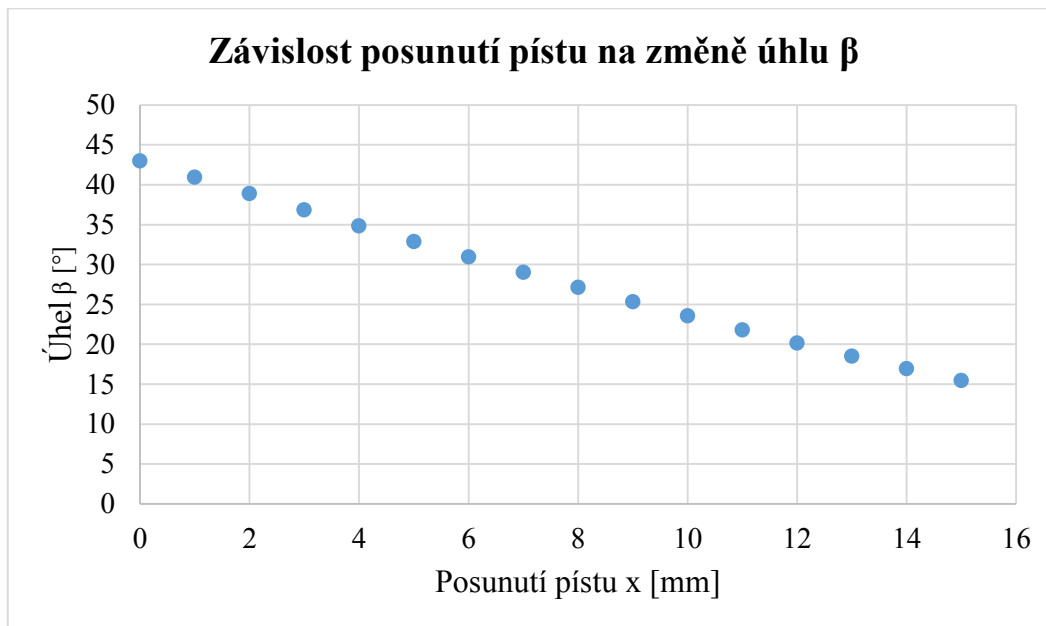
Poměr mezi silami uchopovací silou U a silou pohonu F vychází z níže uvedených vztahů:

$$\frac{U}{F} = \frac{1}{2} \cdot \frac{dx}{du} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{P_u} \quad (7)$$

$$\frac{U}{F} = \frac{c \cdot \sin \beta + \frac{(c \cdot \cos \beta) \cdot (b - c \cdot \sin \beta)}{\sqrt{a^2 - (b - c \cdot \sin \beta)^2}}}{d \cdot \cos(\alpha - \beta)} \quad (8)$$

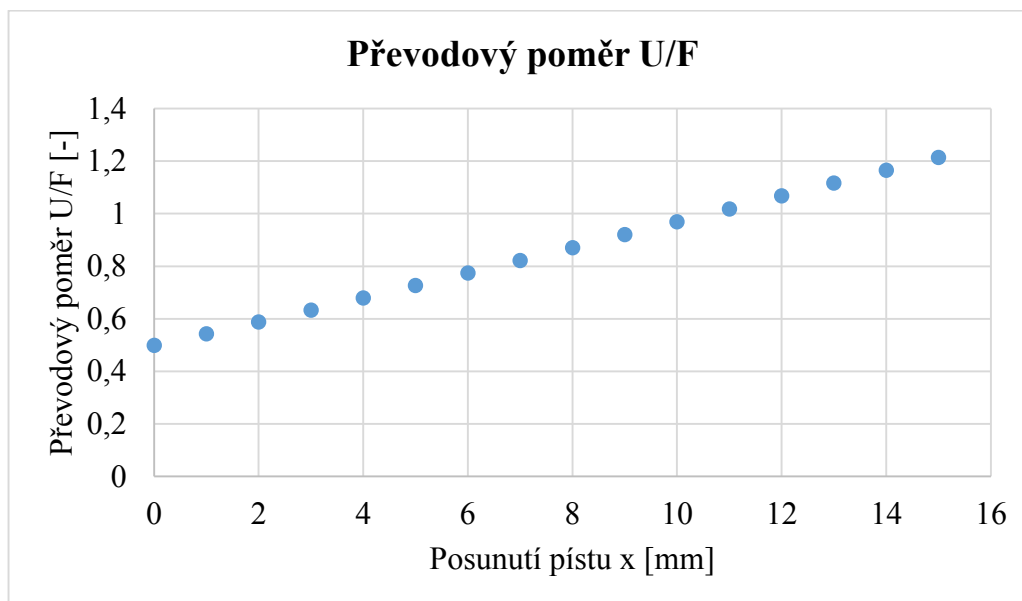
8.3 Grafy závislostí převodové funkce

Níže uvedený **Graf 1** určuje změnu úhlu β v závislosti na posuvu pístu ve směru osy x. Rozsah posuvu pístu motoru je 0 až 15 mm.



Graf 1 Závislost posunutí pístu na změně úhlu β

Následující **Graf 2** určuje průběh změny převodového poměru sil U/F v průběhu vysouvání pístu motoru. Na základě výsledků je možno prohlásit, že převodový poměr roste s vysunutím pístu pohonu efektoru.



Graf 2 Převodový poměr U/F efektoru

9. Výpočet sil pohonu efektoru

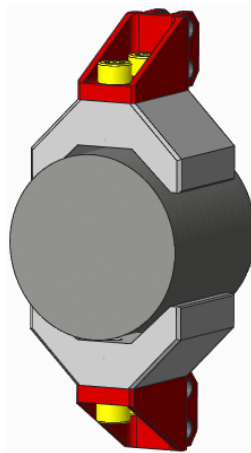
V této kapitole budou vypočteny, které bude vyvíjet pohon efektoru pro bezpečné uchopení objektů manipulace. Výpočet je založen na předchozím výpočtu uchopovacích sil a dále převodovém poměru sil U/F . Úhel β , který je potřebný pro výpočet byl určen pomocí simulace uchopení jednotlivých objektů v softwaru Creo Parametric 3.0.

Pro každý objekt manipulace byla zkonstruována vyměnitelná čelist. Jednotlivé čelisti i uchopení objektů manipulace je znázorněno na **Obr. 29**, **Obr. 30** a **Obr. 31**

9.1 Výpočet síly pohonu efektoru pro uchopení tyče

Výpočet síly pohonu efektoru pro uchopení tyče		
Zadáno	Výpočet	Výsledek
Uchopovací síla tyče: $U_t = 231,2 \text{ N}$ Parametry mechanismu efektoru zadány v Tab. 19 $\beta = 38,7^\circ$	Převodový poměr pro uchopení puku: $\frac{U}{F} = \frac{c \cdot \sin \beta + \frac{(c \cdot \cos \beta) \cdot (b - c \cdot \sin \beta)}{\sqrt{a^2 - (b - c \cdot \sin \beta)^2}}}{d \cdot \cos(\alpha - \beta)} =$ $= \frac{30 \cdot \sin 28,2^\circ + \frac{(30 \cdot \cos 38,7^\circ) \cdot (30 - 30 \cdot \sin 38,7^\circ)}{\sqrt{30^2 - (30 - 30 \cdot \sin 38,7^\circ)^2}}}{44 \cdot \cos(45^\circ - 38,7^\circ)}$	$U/F =$ $0,58 [-]$
	Poměr sil U/F : $F = \frac{U_t}{0,58} = \frac{231,2}{0,58}$	$F =$ $398,6 \text{ N}$

Tab. 21 Výpočet síly pohonu efektoru pro uchopení tyče

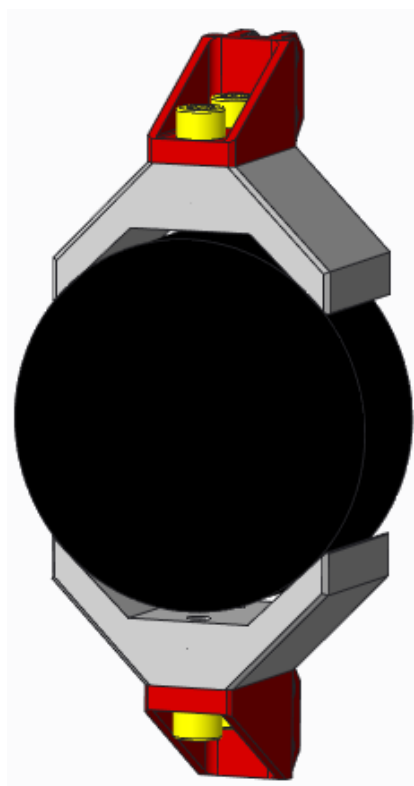


Obr. 29 Uchopení tyče

9.2 Výpočet síly pohonu efektoru pro uchopení puku

Výpočet sil pohonu efektoru pro uchopení puku		
Zadáno	Výpočet	Výsledek
Uchopovací síla puku: $U_p = 16,2 \text{ N}$ Parametry mechanismu efektoru zadány v Tab. 19 $\beta = 28,2^\circ$	Převodový poměr pro uchopení puku: $\frac{U}{F} = \frac{c \cdot \sin \beta + \frac{(c \cdot \cos \beta) \cdot (b - c \cdot \sin \beta)}{\sqrt{a^2 - (b - c \cdot \sin \beta)^2}}}{d \cdot \cos(\alpha - \beta)} =$ $= \frac{30 \cdot \sin 28,2^\circ + \frac{(30 \cdot \cos 28,2^\circ) \cdot (30 - 30 \cdot \sin 28,2^\circ)}{\sqrt{30^2 - (30 - 30 \cdot \sin 28,2^\circ)^2}}}{44 \cdot \cos(45^\circ - 28,2^\circ)}$	$U/F =$ $0,84 [-]$
	Výsledná síla pohonu F: $F = \frac{U_p}{0,84} = \frac{16,2}{0,84}$	$F = 19,2 \text{ N}$

Tab. 22 Výpočet síly pohonu efektoru pro uchopení puku

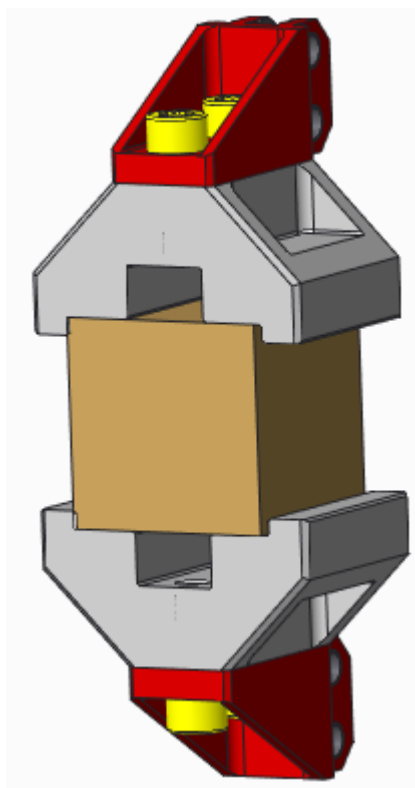


Obr. 30 Uchopení puku

9.3 Výpočet síly pohonu efektoru pro uchopení krychle

Výpočet sil pohonu efektoru pro uchopení krychle		
Zadáno	Výpočet	Výsledek
Uchopovací síla krychle: $U_t = 93,8 \text{ N}$ Parametry mechanismu efektoru zadány v Tab. 19 $\beta = 41,3^\circ$	Převodový poměr pro uchopení puku: $\frac{U}{F} = \frac{c \cdot \sin \beta + \frac{(c \cdot \cos \beta) \cdot (b - c \cdot \sin \beta)}{\sqrt{a^2 - (b - c \cdot \sin \beta)^2}}}{d \cdot \cos(\alpha - \beta)} =$ $= \frac{30 \cdot \sin 41,3^\circ + \frac{(30 \cdot \cos 41,3^\circ) \cdot (30 - 30 \cdot \sin 41,3^\circ)}{\sqrt{30^2 - (30 - 30 \cdot \sin 41,3^\circ)^2}}}{44 \cdot \cos(45^\circ - 41,3^\circ)}$	$U/F =$ $0,43 [-]$
	Výsledná síla pohonu F: $F = \frac{U_p}{0,43} = \frac{93,8}{0,43}$	$U_k =$ $218,1 \text{ N}$

Tab. 23 Výpočet síly pohonu efektoru pro uchopení krychle

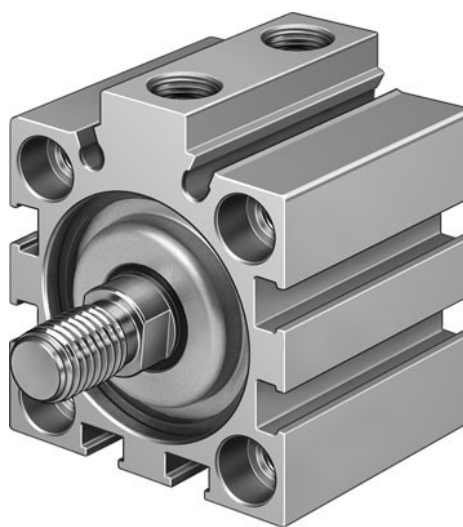


Obr. 31 Uchopení krychle

10. Pohon efektoru

Po výpočtu sil potřebných k bezpečnému uchopení daných objektů manipulace jsem došel k závěru ponechat pohon původního, upravovaného efektoru. Jedná se o pneumatický válec společnosti Festo. Tento pohon dokáže vyvinout dostatečnou sílu a jeho kompaktní rozměry, nízká hmotnost a možnost jednoduchého připojení k efektoru byly rozhodujícími faktory při volbě pohonu.

Typové označení tohoto výrobku je **ADVC-40-15-A-P-A**. Jedná se o dvojčinná pohon, pracovní tlak média je regulován regulačním ventilem, pohon obsahuje tlumení v koncových polohách a poloha je snímána pomocí čidla.



Obr. 32 Pneumatický válec Festo [11]

Parametry pohonu ADVC-40-15-A-P-A	
Zdvih	15 [mm]
Průměr pístu	40 [mm]
Provozní tlak	1-10 [bar]
Teoretická síla při 6 barech	754 N
Hmotnost	0,52 kg

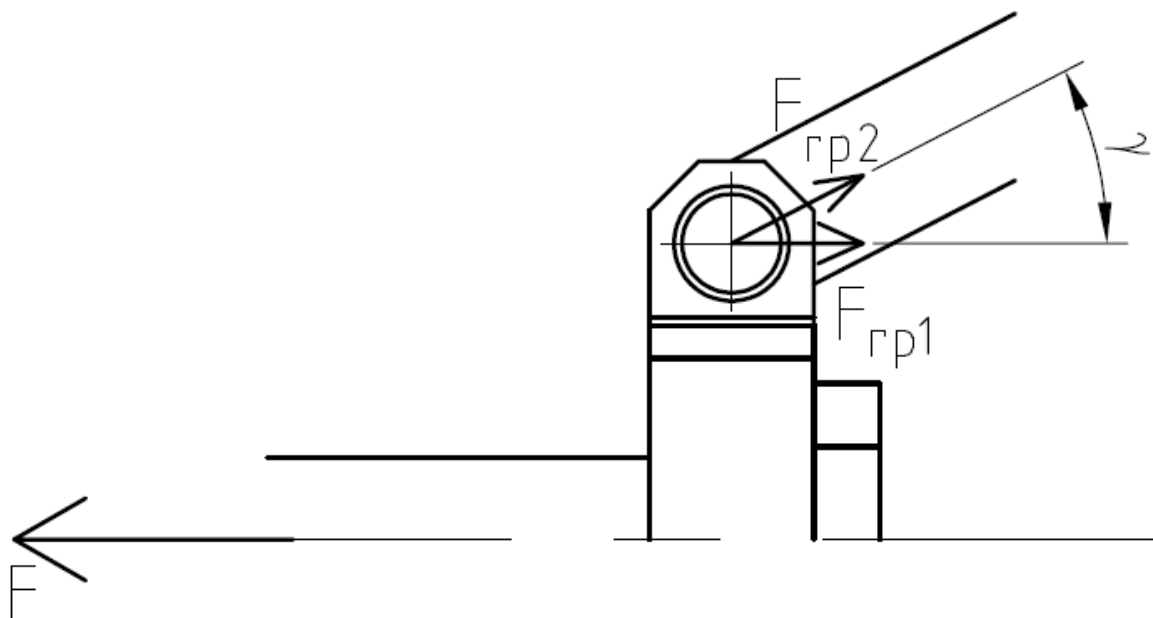
Tab. 24 Parametry pohonu efektoru [11]

11. Kontrola čepů

Ke kontrole čepů byly zvoleny čepy umístěné na kulise pohonu efektoru. Pro kontrolu volím kritickou situaci, která byla určena v kapitole 9. Jedná se o uchopení tyče, během kterého jsou čepy zatíženy nejvíce. V tomto případě musí pohon k bezpečnému uchopení tyče vyvinout sílu $F = 398,6 \text{ N}$.

Kulisový mechanismus je symetrický podle osy pístnice pohonu. Z toho důvodu nebylo potřeba kontrolovat oba čepy v mechanismu a uvažuji pro určení reakcí působení síly $F/2$ na jeden čep. Síla se rozloží do dvou kluzných pouzder uložených v kulise a do kluzného pouzdra uloženého uvnitř pomocného táhla efektoru.

11.1 Výpočet reakcí



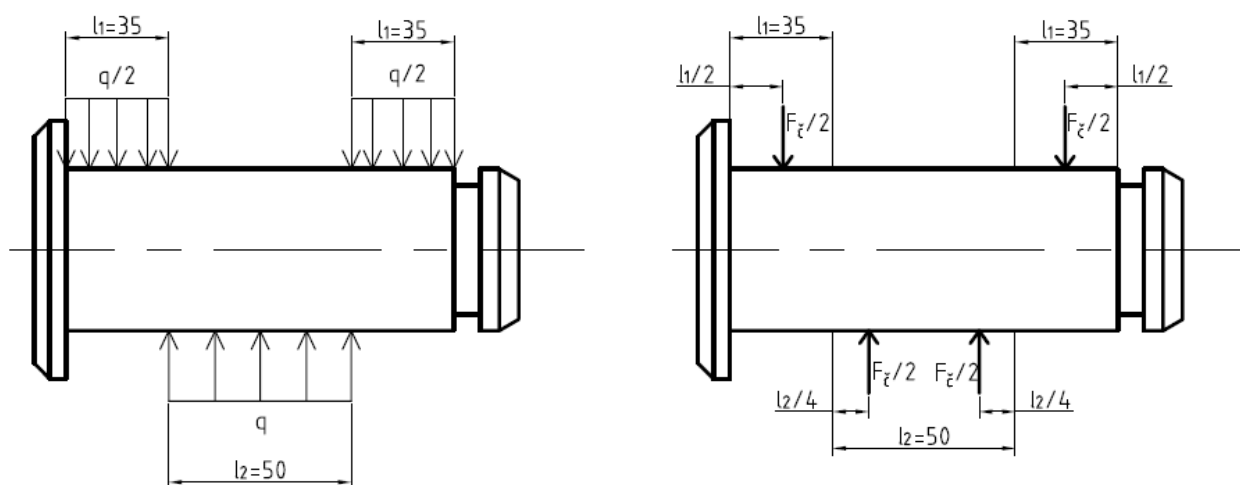
Obr. 33 Silové schéma výpočtu kontroly čepu

Úhel γ je pomocný úhel výpočtu kontroly čepu a byl změřen při simulaci kritické situace, tedy uchopení tyče v programu Creo Parametric 3.0.

Výpočet reakcí síly pohonu efektoru na čep		
Zadáno	Výpočet	Výsledek
Síla pohonu $F = 398,6 \text{ N}$ Pomocný úhel: $\gamma = 16,6^\circ$	Výpočet reakcí: $F_{rp1} = \frac{F}{2} = \frac{398,6}{2}$ $F_{rp2} = \frac{\frac{F}{2}}{\cos(\gamma)} = \frac{\frac{398,6}{2}}{\cos(16,6^\circ)}$	$F_{rp1} =$ 199,3 N $F_{rp2} =$ 208 N

Tab. 25 Určení reakcí síly pohonu na čep

Čep je uložen v kluzných pouzdrech. Vypočtené reakce generují spojitě zatížení q v kluzných pouzdrech. Z tohoto spojitěho zatížení byla odvozena síla působící na čep F_{ξ} . Síla F_{ξ} se velikostí rovná síle F_{rp2} . Schéma je uvedeno na **Obr. 34**. Pro výpočet namáhání čepu byl určen materiál 11 600.



Obr. 34 Schéma pro výpočet kontroly čepu

11.2 Kontrola čepu na otláčení

Kontrola čepu na otláčení		
Zadáno	Výpočet	Výsledek
Síla působící na čep: $F_{\zeta} = 208 \text{ N}$ Délka kluzného pouzdra: $l_1 = 3,5 \text{ mm}$ $l_2 = 5 \text{ mm}$ průměr čepu $d_{\zeta} = 5 \text{ mm}$ Dovolené zatížení: $p_D = 40 \text{ MPa [18]}$	Výpočet otláčení čepu v kulise a táhle: $p_1 = \frac{F_{\zeta}}{2 \cdot l_1 \cdot d_{\zeta}} = \frac{208}{2 \cdot 3,5 \cdot 5}$ $p_2 = \frac{F_{\zeta}}{l_2 \cdot d_{\zeta}} = \frac{208}{5 \cdot 5}$	$p_1 = 5,9 \text{ MPa}$ $p_2 = 8,3 \text{ MPa}$
	Kontrola: $p_{1,2} \leq p_D$ $5,9 \text{ MPa} \leq 40 \text{ MPa}$ $8,3 \text{ MPa} \leq 40 \text{ MPa}$	vyhovuje

Tab. 26 Kontrola otláčení čepu

11.3 Kontrola čepu na ohyb

Kontrola čepu na ohyb		
Zadáno	Výpočet	Výsledek
Síla působící na čep: $F_{\zeta} = 208 \text{ N}$ Délka kluzného pouzdra: $l_1 = 3,5 \text{ mm}$ $l_2 = 5 \text{ mm}$ průměr čepu $d_{\zeta} = 5 \text{ mm}$ Dovolené zatížení: $\sigma_D = 80 \text{ MPa [18]}$	Výpočet ohybového momentu: $M_o = \frac{F_{\zeta}}{2} \cdot \left(\frac{l_1}{2} + \frac{l_2}{4} \right) = \frac{208}{2} \cdot \left(\frac{3,5}{2} + \frac{5}{4} \right)$	$M_o = 312 \text{ N.mm}$
	Výpočet ohybového napětí: $\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{M_o}{\frac{\pi \cdot d_{\zeta}^3}{32}} = \frac{312}{\frac{\pi \cdot 5^3}{32}}$	$\sigma_o = 25,4 \text{ MPa}$
	Kontrola: $\sigma_o \leq \sigma_D$	vyhovuje

Tab. 27 Kontrola čepu na ohyb

12. Ekonomické zhodnocení

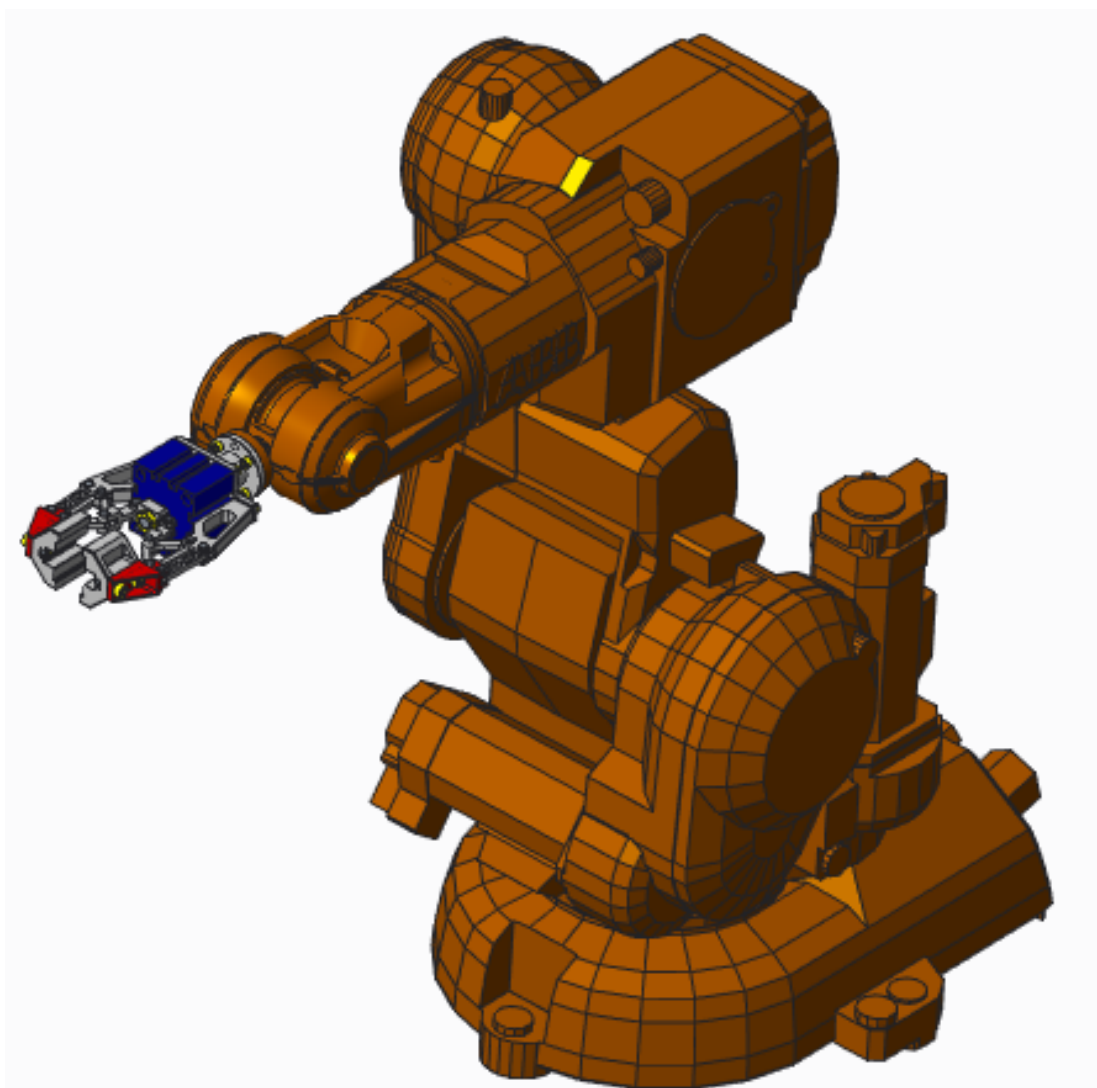
Ekonomické zhodnocení komponent efektoru se řídí cenami výrobců, které bylo možno určit u spojovacích součástí, kluzných pouzder pohonu. U komponent, které byly vyrobeny obráběním z nakupovaných polotovarů je uvedena cena pouze orientační.

Technicko - ekonomické zhodnocení					
č.	Komponenta	Počet	Polotovar	Kč / kus	Cena
1	Spojovací příruba	1	80	150	150
2	Upínací základ	2	100	250	500
3	Nástavec interface	1	60	150	150
4	Interface	1	80	200	200
5	Kulisa	1	80	200	200
6	Pohon Festo ADVC-40-15-A-P-A	1	1700	1700	1700
7	Držák čelisti	2	100	200	400
8	Čelist 1	2	100	250	500
9	Čelist 2	2	100	250	500
10	Čelist 3	2	100	250	500
11	Krajní táhlo	2	80	200	400
12	Vnitřní táhlo	2	100	250	500
13	Pomocné táhlo	2	100	250	500
14	Matice M5 ISO 4032	1	2	2	2
15	Šroub M5 x 20 ISO 4762	4	2	2	8
16	Šroub M5 x 14 ISO 4762	6	2	2	12
17	Šroub M6 x 20 ISO 4762	8	2	2	16
18	Podložka 5 ISO 7089	4	2	2	8
19	Kolík 6 x 12 B ISO 2338	1	2	2	2
20	Kluzné pouzdro Igus GFM-0506-35	16	30	30	480
21	Kluzné pouzdro Igus GSM-0506-05	16	28	28	448
22	Čep 5 x 12 A ISO 2341	10	7	7	70
23	Čep 5 x 17 A ISO 2341	2	7	7	14
24	Kroužek 5 ČSN 02 2929.00	12	2	2	24
Celková cena komponent					7284

Tab. 28 Technicko-ekonomické zhodnocení

13. Technické parametry upraveného efektoru

- Rozměry: 196 x 122 x 67 mm
- Hmotnost: 1,6 kg
- Rozevření čelistí: 32 až 94 mm
- Maximální síla pohonu: 754 N
- Zdvih pístu pohonu 15 mm
- 3 vyměnitelné sady čelistí
- Paralelní pohyb čelistí
- Interface pro robot ABB IRB 140



Obr. 35 Efektor na robotu ABB IRB 140

14. Závěr

Před zahájením konstrukčních úprav efektoru byl vytvořen požadavkový list, který stanovil výsledné parametry. Dále byl určen pracovní cyklus, od něhož se odvíjelo určení silových účinků efektoru.

Jeden z hlavních problémů při řešení efektoru byl rozsah rozevření čelistí. Vzhledem k určeným objektům manipulace bylo potřeba zvýšit rozevření čelistí a dále navrhnout několik typů čelistí z důvodu rozměrové a tvarové rozmanitosti objektů manipulace. Další velkou úpravou prošly táhla. Původní efektor využíval sadu dvojitých táhel. Z důvodu snížení celkové hmotnosti, zjednodušení konstrukce a snížení množství komponent se přistoupilo na sadu samostatných táhel. Pro dosažení požadovaného rozevření čelistí byly dále provedeny změny rozměrů jednotlivých táhel.

Při řešení úprav upínací konstrukce byly navrženy tři varianty. Vítězná varianta upínací konstrukce efektoru se skládá ze svařence, který se skládá z interface, nástavce a základu upínací konstrukce. Základ upínací konstrukce je přizpůsoben pro montáž pohonu a dvou ramen, které slouží k upnutí jednotlivých táhel. Těmito úpravami bylo mimo jiné dosaženo jednodušší montáže k interface robotu.

Volba pohonu efektoru vychází z převodové funkce mechanismu, určení upínacích sil a nakonec určení sil, které musí pohon vyvinout pro bezpečné uchopení stanovených objektů manipulace. Původní pohon efektoru, je mírně předimenzován, ale byl ponechán díky kompaktnosti a jednoduchému připojení k efektoru.

Po dokončení úprav byla vypracována kompletní výkresová dokumentace efektoru, vypracována v CAD systému Creo Parametric 3.0. Součástí práce je také 3D model efektoru. Práce také obsahuje pevnostní kontrolu čepů, které se nacházejí v kulise a jsou uloženy v kluzných pouzdech.

Na závěr byla provedena kalkulace všech komponent. Cenu některých komponent bylo možné možno určit pomocí cen jednotlivých výrobců, ale některé ceny komponent byly určeny odhadem.

Práce obsahuje pouze konstrukční řešení. Pro aplikaci efektoru je potřeba navrhnout pneumatický obvod, dořešit přívod tlakové energie a s ní související kabeláž, montáž kabeláže k efektoru a regulace. Dále je potřeba vytvořit řídicího systému a řídicí program.

15. Seznam použité literatury:

- [1] SKAŘUPA, Jiří a Pavol ZELINA. *Navrhování a výpočty efektorů PRaM*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1996, 102 s. ISBN 80-7078-304-4.
- [2] SKAŘUPA, Jiří a Pavol ZELINA. *Hlavice průmyslových robotů*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1993, 100 s. ISBN 80-7078-210-2.
- [3] SKAŘUPA, Jiří. *Roboty a manipulátory I*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2002, 136 s. ISBN 80-248-0044-6.
- [4] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB-TUO, 2007, 1 elektronický optický disk (CD-R). ISBN 978-80-248-1522-0-.
- [5] TALÁCKO, Jaroslav a Robert MATIČKA. *Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1995, 236 s. ISBN 80-01-01291-3.
- [6] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5. upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [7] SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a Jiří DVOŘÁČEK. *Základy konstruování*. Vyd. 5. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-7204-839-7.
- [8] SVOBODA, Pavel. *Základy strojnictví: výběr z norem pro konstrukční cvičení*. Brno: Vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-7204-751-2.

Internetové zdroje

- [9] *Schunk Grippers: Parallel Gripper* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: http://cz.schunk.com/cz_en/gripping-systems/#/category/gripping-systems/schunk-grippers/parallel-gripper
- [10] *ABB Robotika: IRB 140* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-140>
- [11] *Válce s krátkým zdvihem: Festo* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_ADVC_AEVC
- [12] *Iglide® G300: igus* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: http://www.igus.com/iPro/iPro_02_0001_0000_USen.htm?ArtNr=GFM-0506-035&c=US&l=en

- [13] *Hladké hliníkové plechy standard: ehlinik.cz* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.ehlinik.cz/hladke-hlinikove-plechy-standard/kat-N300000101.html>
- [14] *Válcované desky EN AW: GLEICH ALUMINIUM* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://gleich.de/cz/produkty/vlcovan-desky/vlcovan-desky-en-aw-/en-aw-6082#sheet>
- [15] *Šrouby: Spojovací materiál* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.spojovaci-material.net/sp/srouby/>
- [16] *Kroužky pojistné třmenové: pematex* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <https://www.pematex.cz/krouzky-pojistne-trmenove-din-6799-zinek-bily?gclid=CJ2fn8H3xcwCFUO3GwodPXAMmg>
- [17] *Matice šestihranné: Valenta* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.valentazt.cz/matice.html#din-934>
- [18] *Vlastnosti materiálů a látek: E-konstruktor* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/hodnoty-mez-pevnosti-kluzu-unavy-a-dovolenych-napeti-pro-ocel>
- [19] *Kluzná ložiska: TME* [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/katalog/?art=GFM-0506-06>
- [20] *Kolík válcovaný: spojovací-materiál.net* [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.spojovaci-material.net/sp/koliky-cepy-zavlacky-pera/koliky-valcove/din7a-nekaleny/ocel/bez-povrchove-upravy/kolik-valcovy-din-7a-m6-6x12-8653.html>

16. Seznam obrázků

Obr. 1 Pneumatický efektor Schunk MPG-plus [9].....	13
Obr. 2 Hydraulický efektor Schunk HGN [9]	14
Obr. 3 – Elektrický efektor Schunk MEG [9]	14
Obr. 4 Vakuový efektor Schunk GSW-V [9]	15
Obr. 5 Obecná struktura efektorů [4]	17
Obr. 6 Robot ABB IRB 140 [10]	19
Obr. 7 Tyč	19
Obr. 8 Puk	19
Obr. 9 Kostka	19
Obr. 10 Původní efektor	20
Obr. 11 Pracovní cyklus	21
Obr. 12 Síly působící na objekt manipulace	21
Obr. 13 Síly působící na objekt manipulace při vertikálním pohybu	22
Obr. 14 Síly působící na objekt manipulace při horizontálním pohybu	23
Obr. 15 Schéma rozdělení uchopovacích sil pro tyč	25
Obr. 16 Schéma rozdělení uchopovacích sil pro puk	26
Obr. 17 Schéma rozdělení uchopovacích sil pro krychli	27
Obr. 18 Varianta 1	28
Obr. 19 Varianta 2	29
Obr. 20 Varianta 3	30
Obr. 21 Finální varianta efektoru	34
Obr. 22 GFM-0506-35 [12]	35
Obr. 23 GSM-0506 [12]	35

Obr. 24 Podsestava čelisti	35
Obr. 25 Soustava táhel efektor	36
Obr. 26 Upínací konstrukce efektoru	36
Obr. 27 Upínací konstrukce efektoru	37
Obr. 28 Zjednodušené schéma mechanismu efektoru	38
Obr. 29 Uchopení tyče	41
Obr. 30 Uchopení puku	42
Obr. 31 Uchopení krychle	43
Obr. 32 Pneumatický válec Festo [11]	44
Obr. 33 Silové schéma výpočtu kontroly čepu	45
Obr. 34 Schéma pro výpočet kontroly čepu	46
Obr. 35 Efektor na robotu ABB IRB 140	49

17. Seznam tabulek

Tab. 1 Pneumatický efektor Schunk MPG-plus [9]	13
Tab. 2 Hydraulický efektor Schunk HGN [9]	14
Tab. 3 Elektrický efektor Schunk MEG [9]	15
Tab. 4 Vakuový efektor Schunk GSW-V [9]	15
Tab. 5 Výpočet výsledné síly vertikálního pohybu	22
Tab. 6 Výpočet výsledné síly horizontálního pohybu	23
Tab. 7 Hodnoty dílčích koeficientů bezpečnosti [1]	24
Tab. 8 Výpočet koeficientu bezpečnosti efektoru	24
Tab. 9 Výpočet uchopovací síly tyče	25
Tab. 10 Výpočet uchopovací síly puku	26
Tab. 11 Výpočet uchopovací síly krychle	27
Tab. 12 Volba kritérií	31
Tab. 13 Hodnocení kritérií	31
Tab. 14 Zhodnocení variant	32
Tab. 15 Určení významnosti kritérií	32
Tab. 16 Výpočet vážených indexů I_{ij}^* Varianty 1	32
Tab. 17 Výpočet vážených indexů I_{ij}^* Varianty 2	33
Tab. 18 Výpočet vážených indexů I_{ij}^* Varianty 3	33
Tab. 19 Výsledek kritériální analýzy	33
Tab. 20 Parametry mechanismů efektoru	38
Tab. 21 Výpočet síly pohonu efektoru pro uchopení tyče	41
Tab. 22 Výpočet síly pohonu efektoru pro uchopení puku	42
Tab. 23 Výpočet síly pohonu efektoru pro uchopení krychle	43

Tab. 24 Parametry pohonu efektoru [11]	44
Tab. 25 Určení reakcí síly pohonu na čep	46
Tab. 26 Kontrola otlačení čepu	47
Tab. 27 Kontrola čepu na ohyb	47
Tab. 28 Technicko-ekonomické zhodnocení	48

18. Seznam grafů

Graf 1 Závislost posunutí pístu na změně úhlu β 40

Graf 2 Převodový poměr U/F efektoru 40

19. Seznam příloh

CD-ROM

Bakalářská práce .docx .pdf

3D Model

Výkresová dokumentace

Katalogový list ABB IRB 140 Data Sheet

Katalogový list Festo ADVC-40-15-A-P-A

Výkresová dokumentace

Sestavný výkres E140-000-3-00

Sestavný výkres E140-010-3-00

Výrobní výkres E140-010-3-02

Sestavný výkres E140-030-3-00

Výrobní výkres E140-030-4-01